

# Continuous heat generation method using compacted biological plant material has air-tight gasification chamber providing smoulder gases fed to combustion chamber with combustion of collected ash

Publication number: DE19961155

Publication date: 2001-06-13

Inventor: STEINBRECHT DIETER (DE); GARSKE WOLFGANG (DE); MATZMOHR ROLAND (DE)

Applicant: STEINBRECHT DIETER (DE); GARSKE WOLFGANG (DE); MATZMOHR ROLAND (DE)

Classification:

- international: **F23G5/027; F23G5/16; F23G5/30; F23G5/50; F23G7/10; F23L1/02; F23G5/027; F23G5/16; F23G5/30; F23G5/50; F23G7/00; F23L1/00; (IPC1-7): F23G5/027; F23B7/00; F23G7/02**

- european: **F23G5/027; F23G5/16; F23G5/30; F23G5/50; F23G7/10; F23L1/02**

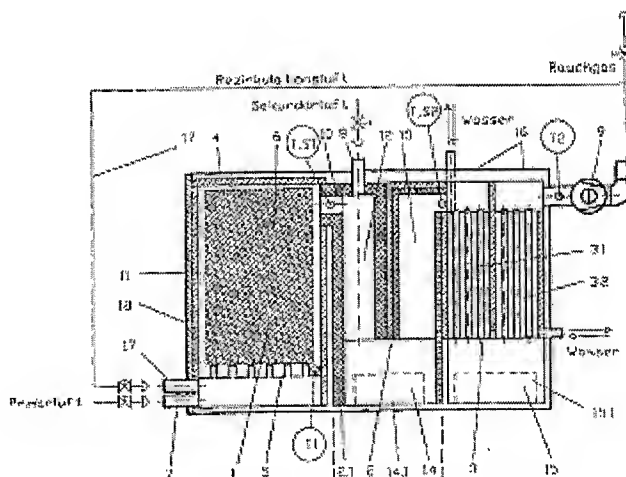
Application number: DE19991061155 19991217

Priority number(s): DE19991061155 19991217

[Report a data error here](#)

## Abstract of DE19961155

The heat generation method has a small-scale combustion plant with an air-tight gasification chamber (1) loaded discontinuously with compacted fuel balls (6), supplied with regulated primary air for provision of smoulder gases fed to a combustion chamber (2), the ash collected and supplied with primary air for combustion of the remaining combustible residue. The combustion chamber is preceded by a mixing chamber (12) for mixing with secondary air and followed by an afterburner chamber (13). An independent claim for a continuous heat generation device using combustion of compacted plant material is also included.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Patentschrift  
10 DE 199 61 155 C 1

51 Int. Cl. 7:  
F 23 G 5/027  
F 23 G 7/02  
F 23 B 7/00

21 Aktenzeichen: 199 61 155.6-13  
22 Anmeldetag: 17. 12. 1999  
43 Offenlegungstag: -  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 13. 6. 2001

DE 199 61 155 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Steinbrecht, Dieter, Prof. Dr.-Ing.habil., 14532  
Kleinmachnow, DE; Garske, Wolfgang, Dr.-Ing.,  
17109 Demmin, DE; Matzmohr, Roland, Dr.-Ing.,  
18246 Neuendorf, DE

74 Vertreter:

Kappner, K., Dipl.-Ing. (FH), Pat.-Anw., 18059  
Rostock

72 Erfinder:

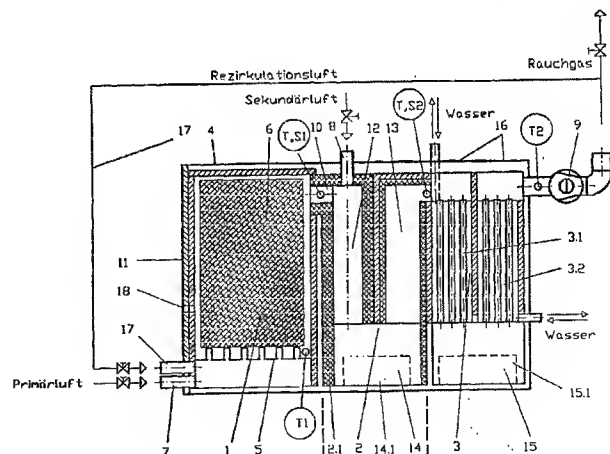
gleich Patentinhaber

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

DE 37 18 022 C1  
DE 42 11 663 A1

54 Verfahren und Vorrichtung zur Wärmenutzung von kompaktierten halm- und stängelförmigen Energiepflanzen  
in Feuerungsanlagen

57 Das Verfahren zur kontinuierlichen Wärmenutzung von zu Ballen kompaktierten festen biogenen Brennstoffen, nämlich halm- und stängelförmigen Energiepflanzen, wie Stroh, Schilf, Heu, Torf o. dgl. in Feuerungsanlagen kleiner Leistung (bis ca. 100 kW) bei diskontinuierlicher Brennstoffbeschickung ohne vorherige Zerkleinerung und Brikettierung desselben zur kontinuierlichen Bereitstellung der erzeugten Wärme erfolgt zweistufig, nämlich durch die Vergasung der biogenen Brennstoffe und anschließender Verbrennung der erzeugten Gase. Die kompaktierten Brennstoffballen 6 werden im ganzen in einer luftdicht verschließbaren Vergasungskammer 1 raumfüllend eingesetzt und unter Zuführung geregelter unterstöchiometrischer Primärluft im Schwelbrand zu Schmel- bzw. Brenngasen vergast. Die abfallende Asche wird von einer geeigneten Rostgrundplatte 5.2 aufgefangen und die in der Asche verbliebenen brennbaren Teilchen durch Zuführung von Primärluft ausgebrannt. Zugleich wird durch die Primärluft die Asche fluidisiert und in eine Aschekammer 5.1 abgeleitet. Das erzeugte Brenngas wird in eine zweizügige Brennkammer 2 unter Zugabe von Sekundärluft eingeleitet, gemischt und mit Luftüberschuß teilweisen bis vollständigen Verbrennung gebracht. Vor dem zweiten als Nachbrennkammer 13 ausgebildeten Brennkammerzug erfolgt eine Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit zum Ausfällen von Asche- und Staubpartikel. In der Nachbrennkammer 13 erfolgt der vollständige Ausbrand der Gase, wobei die ...



DE 199 61 155 C 1

Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren und Vorrichtung zur kontinuierlichen Wärmenutzung von zu Ballen kompaktierten festen biogenen Brennstoffen, nämlich halm- und stengelförmigen Energiepflanzen, wie Stroh, Schilf, Heu, Torf o. dgl. in Feuerungsanlagen kleiner Leistung (bis ca. 100 kW) bei diskontinuierlicher Brennstoffbeschickung ohne vorherige Zerkleinerung und/oder Brikettierung desselben zur kontinuierlichen Bereitstellung der erzeugten Wärme auf der Basis eines zweistufigen Verfahrens, das eine Vergasungs- und eine Verbrennungsstufe umfasst.

Vergaser- bzw. Verbrennungsanlagen für halm- und stengelförmige Produkte der Land- und Forstwirtschaft für energetische Zwecke sind gegenwärtig für Anlagen im großen Leistungsbereich bekannt. Dabei werden bei den meisten Anlagen die kompaktierten Ballen (Quaderballen, Rundballen u. dgl.) vor oder während der Einbringung in den Vergasungs- bzw. Verbrennungsraum mit hohem energetischem und technischem Aufwand zerkleinert (DE OS 30 00 671), aufgebrest oder zu Schüttnmaterial verarbeitet, das direkt oder pelletiert und portionsgerecht (DE OS 30 05 039, 33 02 380) in einen kontinuierlichen Verbrennungsprozeß geleitet wird.

Mit DE 42 11 663 A1 wird beispielsweise eine energetisch aufwendige Zerkleinerung von Strohballen auf einem Glühstabverschweler vorgeschlagen. In einem gasdichten und temperaturbeständigen Behälter werden mehrere Strohballen auf gitterförmig angeordneten glühenden Stäben übereinandergestapelt. Oberhalb der Glühstäbe verschwelt das Stroh und der Ballen wird in handliche Teile zerlegt. Das entstehende Schwelgas wird zur Nutzung abgeführt.

Bei einigen Anlagen nutzt man auch das sogenannte "Zigarrenbrennerprinzip", bei dem z. B. aufgebreste Strohballen als Strohstrang (DE OS 33 11 415) kontinuierlich durch einen Presskanal pfropfenartig in den Reaktionsraum eingeschoben werden, die am vorderen Ende abbrennen (DE OS 30 31 395).

Ein Vorschlag nach DE OS 30 25 565 sieht auch vor, durch eine innerhalb des Feuerungsraumes angeordnete Vorrichtung den zugeführten Pressballen stirnseitig soweit aufzulockern wie es für die zu erzeugende Wärmemenge erforderlich ist.

Da beim Verbrennen von Stroh der Ascheanteil relativ groß ist, wird die Asche mittels eines drehenden Ascheabstreifers schneepflugartig abgestreift (DE OS 31 09 917). Andere Vorschläge sehen Rüttelroste (DE OS 34 18 864) oder zwangsbewegte Auflockerungselemente im Rost, wie vergleichsweise nach DE OS 35 16 859 oder 39 02 159, als auch Drehroste (DE OS 35 24 961) zum Abtragen der Asche vor.

Die vorgenannten Einrichtungen sind bau- und wartungsaufwendig. Störungen im Betrieb sind nicht auszuschließen. Ihre Bedienung setzt zudem qualifiziertes Personal voraus.

Periphere Zuführeinrichtungen, Zerkleinerungsmechanismen und Dosiereinrichtungen für Feuerungsanlagen sind unter diesen Bedingungen nur im großen Leistungsbereich ökonomisch vertretbar. Das Gleiche gilt aber nicht für Anlagen kleiner Leistung, die auch von nicht spezialisiertem Personal bedient werden sollen.

Für die Nutzung von halm- und stengelförmigem voluminösem Erntegut ist in der Regel zum Zweck ihres Transportes und zur Einlagerung eine Verdichtung zu einer handhabbaren Materialform (Ballen) notwendig. Hierzu haben sich vor allem die in der Landwirtschaft üblichen und im weiten Rahmen standardisierten Ballenpressen durchgesetzt. Diese werden zur Verdichtung des losen biogenen Materials zu den bekannten Hochdruckballen, Rundballen, kubischen

Großballen, eingesetzt. Bekannt sind auch Systeme, bei denen das biogene Material, wie beispielsweise Stroh, vor Ort gehäckselt und zu Pellets verpresst wird.

Die Maschinen- und Verfahrensketten zur Bergung von halm- und stengelförmigen Materialien (Pressen, Laden, Transport und Einlagern) sind in der Landwirtschaft erprobt und seit Jahren vorhanden.

Im Gegensatz zu Feuerungsanlagen großer Leistung ist eine Reduzierung von z. B. Lagerungs- und Transportkosten durch Nutzung von dezentralen Feuerungsanlagen kleiner Leistung (ca. 100 kW) aus Sicht ihrer Effizienz geboten.

Für die thermische Verwertung von biologischen festen Brennstoffen mit halm- oder stengelartiger Struktur in kompakter Ballenform kommen, unter Nutzung o. g. technischer Aufbereitungsmittel, im wesentlichen zwei Verfahrensprinzipien zur Anwendung. Einmal das direkte Verbrennen der in einen Feuerungsraum kontinuierlich eingetragenen Brennstoffe (z. B. DE-OS 30 16 531) mit anschließender Wärmenutzung über Wärmeübertrager (DE-OS 29 43 250). Nach dem zweiten Prinzip erfolgt in einer Vorbrennzone unter Zuführung von Verbrennungserstluft (Primärluft) eine teilweise Verbrennung und Verschwelen zur Erzeugung von Schwelgas, das im Anschluß in einer Nachbrennzone oder Brennkammer unter Zuführung von Verbrennungszweitluft (Sekundärluft) vollständig verbrannt wird (DE-OS 30 20 799, 30 22 166, 30 23 420 und 30 23 421). Die freigesetzte Wärme wird direkt über Rohrwandwärmeübertrager oder doppelwandige, das Kühlwasser führende Heizkessel DE-OS 30 11 780 oder über nachgeordnete Wärmeübertrager abgeführt.

Bei beiden Prinzipien ist zu beobachten, dass durch den hohen Ascheanteil die Verbrennung unvollständig erfolgt und ein Teil der Restgase ungenutzt in die Atmosphäre entweicht. Diese hohen Ascheanteile schränken auch die Wirksamkeit des Feuerungsraumes und der Wärmeübertrager erheblich ein, was häufige Reinigungsarbeiten notwendig werden lässt. Auch ist zu beobachten, dass bei zu Ballen kompaktierten biogenen Brennstoffen die Feuerungsräume, insbesondere die Vergasungskammern nicht optimal angepasst sind. Durch verbleibende Freiräume kommt es an Stelle einer gewünschten langsam ablaufenden kontinuierlichen Vergasung zum vorschnellen Verbrennen der eingesetzten Brennstoffe bis hin zu einer Verpuffung. Solche Reaktionen behindern bei Kesselanlagen kleiner Leistung den kontinuierlichen Betrieb bzw. sie können erheblichen Beschädigungen an der Anlage verursachen.

Für Festbrennstoffe wurde mit DE 37 18 022 C1 eine Heizkesselanlage mit Brennstoffschacht und integriertem Wärmetauscher vorgeschlagen, dessen Brennstoffschacht sich in eine Trocken- und Vergasungszone gliedert. Eine schwenkbar gelagerte prismatische Abstützung verbindet diesen Bereich mit einem darunter befindlichen Brennraum mit Feuerungsrost. An den Brennraum ist eine aufsteigende Nachbrennkammer angeordnet an die nachfolgend der Wärmetauscher angekoppelt ist. Hinter dem Wärmetauscher folgt dann ein Zyklon-Abgasentstauber. Für biogene Brennstoffe ist dieser Heizkessel nicht geeignet, da ein Abfließen der im allgemeinen verflochtenen biogenen Brennstoffmasse über die Abstützung erheblich behindert wird. Im weiteren wird durch den direkten Anschluß der Nachbrennkammer an den Brennraum ein großer Teil der relativ leichten Brennstoff- und Ascheteilchen durch den Sog bis in den Wärmetauscher mitgerissen. Die erst in diesem Bereich ausbrennenden Teilchen können auf Grund geringerer Brenntemperaturen zum Versotten des Wärmetauschers führen. Die hohe Belastung der Abgase mit Abbranntteilchen macht zugleich die Anordnung eines zusätzlichen Abgasentstaubers notwendig.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein thermisches Verfahren und Feuerungsanlage kleiner Leistung (ca. 100 kW) für Brennstoffe aus halm- und stengelförmigem voluminösem Erntegut in handhabbarer Materialform (Ballen), insbesondere in Form von Hochdruckballen, Rundballen oder kubischen Großballen zu schaffen, die unter den Bedingungen eines diskontinuierlichen Brennstoffeintrages eine kontinuierliche thermische Verwertung, d. h. eine kontinuierliche Wärmeerzeugung (-Nutzung) ermöglichen. Hierbei soll eine verbrennungstechnische Aufbereitung (aufbohren, zerkleinern, pelletieren oder aufbesen des Brennmaterials) und/oder ein komplizierter und aufwendiger mechanischer Ascheabtrag entfallen. Entsprechend dem vorgesehenen dezentralen Verwendungszweck soll die Feuerungsanlage transportabel, effizient, umweltschonend sein und in ihrer Bedienung einfach und von Nichtspezialisten erfolgen können.

Das erfindungsgemäße Verfahren besteht darin, dass die kompaktierten Ballen im ganzen in eine luftdicht verschließbare Vergasungskammer auf einem Rost annähernd raumfüllend eingesetzt und durch Zuführung unterstöchiometrischer Primärluft über den Rost im Schmelbrand vergast werden.

Beim fehlender Raumfüllung ist verfahrensspezifisch der Einsatz einer Abdeckhaube entsprechend den Abmessungen des Brennstoffallens vorgesehen. Diese Abdeckhaube wird wie eine Glocke über den zu verschmelzenden Brennstoffballen gestülpt und gemeinsam mit diesem dann in die Vergasungskammer eingesetzt.

Die erzeugten Schmelzgase werden anschließend in eine, im wesentlichen vertikal angeordnete, zweizügige Brennkammer im oberen Bereich ihres ersten Brennkammerzuges unter Zugabe von Sekundärluft eingeleitet, gemischt und zur Verbrennung gebracht und im unteren Bereich vor dem zweiten Brennkammerzug zum Ausfällen von Flugasche durch eine als Beruhigungszone ausgebildete Strömungskammer geführt und anschließend im zweiten aufsteigenden Brennkammerzug zum Ausbrand (Nachverbrennung) gebracht.

Nach dem Ausbrand werden die heißen Rauchgase durch einen Wärmeübertrager geleitet, wo die Auskopplung der Nutzwärme erfolgt. Parallel zum sofortigen Nutzwärmeentzug wird zur Kompensierung von Betriebsschwankungen und Betriebsunterbrechungen Wärme in einem Pufferspeicher gespeichert. Aus dem Wärmeübertrager heraus werden die Rauchgase über einen Schornstein in die Atmosphäre abgeführt.

Die Steuerung der Luftzuführung (Primär- und Sekundärluft) erfolgt in Wechselwirkung mit einer Temperatur- und Sauerstoffkontrolle am Brennkammerein- und -austritt und bezüglich der Vergasungstemperatur oberhalb des Ascherostes und nach dem Wärmeübertrager, vorzugsweise im Rauchgasabzug. Neben der Zuleitung von Primärluft werden in Abhängigkeit des Vergasungsfortschrittes, insbesondere zur Unterdrückung offener Flammenbildung (Verpuffungsgefahr), Rauchgas aus dem Rauchgasabzug über eine Rezirkulationsleitung in die Vergasungskammer zurückgeführt.

Zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Primärluftverteilung in die Vergasungszone am Ballen und zum relativ selbständigen Ascheabtrag ist in der Vergasungskammer ein Ascherost in Form eines "Igelrostes/Stelzenrostes" mit zusätzlichen Luftübertrittsbohrungen vorgesehen. Auf diesem liegen die Brennstoffballen auf und sinken proportional zum Fortschritt des Schmelbrandes durch ihre Masseschwerkraft ein. Dadurch wird die untere Schmelbrandfläche aufgelockert, vergrößert und das Abfallen der mit unverbrannten Bestandteilen durchsetzten Asche bewirkt. Dieses abfallende

Aschegemisch wird von einer geeigneten Rostgrundplatte aufgefangen und durch den Eintrag von Primärluft über die gesamte Fläche der Rostgrundplatte zum Fluidisieren und gleichzeitig zum Ausbrennen der mitgetragenen nichtverbrannten Teilchen gebracht. Die fluidisierte Asche wird dann über die geeignete Rostgrundplatte durch ihre eigene Schwerkraft langsam und kontinuierlich in eine Aschekammer abgeleitet.

Ein installiertes Saug-Zug-Gebläse (und/oder Druck-Gebläse) sorgt dafür, dass die Primärluft durch Unter- oder Überdruck in die Vergasungskammer und die Sekundärluft in die erste Stufe der zweigeteilten Brennkammer gelangt. Die Regelung der unterstöchiometrischen Primärluftzufuhr in die Vergasungskammer ist erfindungsgemäß so ausgestaltet, dass die eingesetzten Brennstoffballen kontinuierlich und gleichmäßig so vergast werden, dass über einen längeren Zeitraum ein Maximum an brennbaren Gasen erzeugt wird. Das Verbrennen der Reaktionsgase innerhalb der zweizügigen Brennkammer erfolgt mit Luftüberschuß und kontinuierlich abnehmender Strömungsgeschwindigkeit innerhalb der Brennkammer, wobei gleichzeitig die Zufuhr von Sekundärluft im ersten Teil der zweizügigen Brennkammer geregelt erfolgt. Als Meßsonden zur Kontrolle der Zufuhr von Primär- und Sekundärluft als auch zur Abgaskontrolle sind Lambda ( $\lambda$ )-Sonden und Temperaturfühler vorgesehen.

Verfahrensgemäß ist weiterhin vorgesehen, dass für zeitlich begrenzte diskontinuierliche Betriebsunterbrechungen der Kesselanlage oder auch zum Zweck der Brennstoffbeschickung die Wärmeentnahme aus dem mit dem Wärmeübertrager gekoppelten Pufferspeicher erfolgt.

Das hier aufgezeigte Verfahren bzw. Einrichtung zur Wärmeerzeugung aus halm- und stengelförmigen Energiepflanzen ist durch das Nachfüllen der Anlage mit neuem Brenn- bzw. Vergasungsmaterial ein diskontinuierliches Verfahren. Ist aber der Vergasungsprozeß in der Vergaserstufe in Gang gesetzt, so ist ein kontinuierlicher Prozeßablauf (Erzeugung von Brenngasen, Vergasung) garantiert, indem die optimalen Temperatur- und Konzentrationsbereiche eingehalten und gewährleistet werden.

In beiden Bereichen, Vergaserstufe und Verbrennungsstufe, sind während des Betriebes die Temperaturbereiche so eingestellt, daß ein Schmelzen der Asche- und der Staubpartikel verhindert wird.

Im ersten Teil der zweizügigen nicht gekühlten (bzw. sehr gut isolierten) Brennkammer, wo die Durchströmung von oben nach unten vorrangig genutzt wird, ist das Vermischen der Brenngase mit der Luft und die Vorverbrennung vorgesehen.

Im zweiten Teil der Brennkammer, wo vorzugsweise die Durchströmung von unten nach oben vorgesehen ist, erfolgt die vollständige Verbrennung der restlichen Brenngase. Die Einstellung der Strömungsgeschwindigkeit wird konstruktiv gegenüber dem ersten Teil der Brennkammer durch einen größeren Durchmesser, Querschnitt und/oder Kammerlänge des zweiten Brennkammerzuges erreicht. Zusätzlich ist zwischen den beiden Brennkammerzügen im unteren Teil der Brennkammer eine Strömungskammer als Beruhigungszone vorgesehen. In dieser Strömungskammer werden die Brenngase um 180° umgelenkt und durch die stark reduzierte Strömungsgeschwindigkeit mögliche mittransportierte Asche- und Staubpartikel aus dem Brenngasstrom ausgeschieden. Die in der Strömungskammer abgefangene Asche wird in gegebenen Intervallen im kalten Zustand der Anlage entnommen.

Die vorrichtungsgemäße Ausführungsform der Feuerungsanlage kleiner Leistung zur Umsetzung des vorgenannten Verfahrens ist durch folgende Merkmale charakteri-

siert:

- ein isoliertes Gehäuse (vorzugsweise Container), in dem alle verfahrensspezifischen Funktionsbaugruppen eingeordnet sind,
- eine Vergasungskammer mit vertikal orientierter Längsachse,
- dass der Querschnitt der Vergaserkammer annähernd formschlüssig dem Brennstoffballen angepaßt ist,
- dass bei fehlender Anpassung der Vergasungskammer eine dem Brennstoffballen angepaßte glockenartige Abdeckhaube zugeordnet ist,
- dass die Abdeckhaube am unteren Rand Abzugsbohrungen oder Schlitze trägt,
- dass die Abdeckhaube sich gegenüber dem Ascherost auf Stützen abstützt,
- ein Ascherost im unteren Teil der Vergasungskammer, der als Igel- oder Stelzenrostes ausgebildet ist,
- dass der Ascherost eine einstellbare und schwenkbare Rostgrundplatte umfasst,
- dass die Rostgrundplatte eine endliche Anzahl hohler lanzenartiger Stelzen des Igel- bzw. Stelzenrostes trägt, die auf der Seite der Vergasungskammer verschlossen sind,
- dass der Verschluss der Stelzen plan, kalottenartig, spitzkegelig, abgeflacht und spitz, oder kreuzförmig und spitz ist,
- dass die Rostgrundplatte geneigt fixiert ist,
- dass die Rostgrundplatte in einem Gelenk schwenkbar angelenkt ist,
- dass sich die Rostgrundplatte auf ihrer gelenkfreien Seite auf einem festen oder einstellbaren Widerlager abstützt,
- dass die Stelzen in der Rostgrundplatte lotrecht, d. h. parallel zur Längsachse der Vergasungskammer eingepasst sind,
- dass die nach unten offenen Stelzen auf der Gaskammerseite Luftübertrittsbohrungen besitzen,
- dass in der Rostgrundplatte zwischen den Stelzen eine diverse Anzahl von Düsenbohrungen flächendeckend angeordnet sind,
- dass auf einer Längsseite der Vergasungskammer eine über die gesamte Kammerhöhe reichende Tür schwenkbar angeordnet ist,
- eine dem Ascherost zugeordnete Aschekammer mit Reinigungstür,
- eine Primärluftzuführung unter und/oder oberhalb der Rostgrundplatte,
- eine aus dem Rauchgasabzug zuschaltbare Rauchgasrezirkulationsleitung zur Vergaserkammer,
- einem Beobachtungs- und Zündloch in der Vergaserkammer,
- einer vertikal ausgerichteten und parallel zur Vergasungskammer angeordneten zweizügigen Brennkammer, bestehend aus einer Misch- und Vorbrennkammer und einer Nachbrennkammer,
- einer Sekundärluftzuführung im oberen Bereich der Misch- und Vorbrennkammer und einem Brenngaseintritt aus der Vergasungskammer,
- einer als Beruhigungs- und Umlenkzone ausgebildeten Strömungskammer zwischen der Misch- und Vorbrennkammer und der Nachbrennkammer,
- dass der Durchmesser/Querschnitt oder die Kammerlänge der Nachbrennkammer größer ist als der/die der Misch- und Vorbrennkammer,
- einem Wärmeübertrager, vorzugsweise mit zwei vertikal gegenläufig angeordneten Zügen und einer dazwischen angeordneten Umlenkammer,

- einem Saugzug- und/oder Druckgebläse hinter dem Wärmeübertrager im Rauchgasabzug bzw. in der Primär- und Sekundärluftzuführung,
- einem in Parallel- oder Reihenschaltung zum Wärmeübertrager angeordneten Wärmespeicher als Pufferspeicher,
- einem Temperaturfühler  $T_1$  unmittelbar über dem Ascherost,
- einem Temperaturfühler und  $\lambda$ -Sonde  $TS_1$  und  $TS_2$  am Ein- und Austritt der Brennkammer,
- einem Temperaturfühler  $T_2$  am Rauchgasabzug,
- dass die Meßfühler  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $TS_1$  und  $TS_2$  rechnergestützt mit Regelelementen in der Primär- und Sekundärluftzuführung wirkverbunden sind.

Weitere spezifische Gestaltungsformen zur Optimierung der Bauform können darin bestehen, dass die Vergasungskammer, die Brennkammer und der Wärmeübertrager parallel hintereinander oder dass die Brennkammer und der Wärmeübertrager nebeneinander und hinter der Vergaserkammer angeordnet sind, oder die Brennkammer ist unmittelbar über dem Wärmeübertrager angeordnet.

Die erfindungsgemäßen Merkmale sind in den Ansprüchen zusammengefasst.

Im folgenden wird die Erfindung anhand zwei bevorzugter Ausführungsbeispiele näher erläutert. Die Zeichnungen zeigen:

**Fig. 1:** Schematische Darstellung (Vertikalschnitt) der Hauptbaugruppen der Heizungsanlage

**Fig. 2:** Schematische Darstellung (Horizontalschnitt) der Hauptbaugruppen der Heizungsanlage

**Fig. 3:** Schematische Darstellung des Stelzen- oder Igelrostes mit Primärluftzuführung

**Fig. 4:** Schematische Darstellung der Abdeckhaube, vorzugsweise für kleinere Ballen

Die in **Fig. 1** und **2** dargestellten Anlagen bestehend aus der Vergaserkammer **1**, der zweizügigen Brennkammer **2** und der Wärmeübertragereinheit **3** sind vorgesehen zur Wärmeenergieerzeugung, in der halm- und stengelförmige land- und forstwirtschaftliche Produkte in Form von kompaktierten ballenförmigen Biomassen **6** (Energiegetreide, Stroh, Heu, Torf u. ä.) energetisch genutzt werden. Die möglichst kompakt (Container) zusammengebaute Anlage umfaßt ein Gehäuse **4** aus Blech, welches eine Wärmeisolierung **4.1** aufweist, so dass die Wärmeabstrahlung und damit auch die Wärmeverluste gering gehalten werden.

Die Vergaserkammer **1** hat einen dem Brennstoffballen **6** annähernd angepassten Querschnitt (rechteckig oder je nach bevorzugter Ballenform durch den Betreiber) und wird durch die Tür **11** im vorderen Bereich mit dem Brennstoff bzw. Vergasungsmaterial beschickt. Die Vergasungskammer **1** ist bei jeder Anlage auf die jeweilige dominierende Brennstoffballenform auszuführen, um damit sicherzustellen, dass eine vollständige Kammerfüllung für eine ungestörte gleichmäßige Vergasung erreicht wird. Bei Nutzung von kleineren Ballen, die manuell eingesetzt werden können, wird diese Raumfüllung durch die Verwendung einer zusätzlichen Abdeckhaube **20** über dem Brennstoffballen **6** erreicht. Größere oder auch schwerere Ballen können durch die große Öffnung der Tür **11**, die über die gesamte Höhe der Vergasungskammer **1** bis zum Ascherost **5** reicht, ungehindert mit technischen Hilfseinrichtungen zur Beschickung gebracht werden. Nach Beschickung der Vergasungskammer **1** und luftdichtem Verschluss der Tür **11** wird der Brennstoffballen **6** entzündet. Zum Entzünden ist in der Tür **11** die dicht verschließbare Zünd- und Beobachtungsöffnung **18** vorgesehen. Damit wird ein unkontrollierter Fremdlufteintritt verhindert.

Unterhalb des Ascherostes **5** in der Vergasungskammer **1** sind eine oder mehrere Primärlufteinlassöffnungen **7** vorgesehen. Sie sind insgesamt regelbar und sollen gewährleisten, dass in der Vergasungskammer **1** eine Vergasung der Biomasse unter unterstöchiometrischen Luftmangel vollständig und zeitlich gestuft abläuft. Damit wird zugleich die Möglichkeit der "Verpuffung" (unkontrollierte Verbrennung) von Brenngasen ausgeschlossen. Der Beschickungsseite gegenüber befindet sich am hinteren oberen Ende des Vergasungsraumes **1** die Brenngaseinlassöffnung **10** in die zweizügige Brennkammer **2**.

Für die Funktionsweise in der Vergasungskammer **1** ist es zweckmäßig, wenn sich um den zu vergasenden Brennstoffballen **6** möglichst wenig Freiraum befindet, d. h. dass entsprechend der zu nutzenden biogenen Brennstoffe der Vergasungsraum **1** an die Größe der Ballen formgeometrisch angepasst ist. Damit wird eine ruhige durchgreifende Vergasung ohne offene Flammenbildung erreicht und die Gefahr einer Verpuffung maximal ausgeschlossen. Werden kleinere Brennstoffballen **6** in die Vergasungskammer **1** eingesetzt, so wird, wie in Fig. 4 dargestellt, dieser mit einer glockenförmigen Abdeckhaube **20** "luftdicht" überstülpt. Damit ist abgesichert, dass nur im unteren offen liegenden Bereich des Brennstoffballens **6** Luft an das Material gelangt und nur an dieser Auflageseite die Vergasung bewirkt wird.

Die entstehende Asche gelangt durch den stützen- oder igelartig ausgebildeten Aschrost **5** (Fig. 3) auf die Rostgrundplatte **5.2** unterhalb des Vergasungsraumes **1**. So kann gewährleistet werden, dass der Brennstoffballen **6** durch sein eigenes Gewicht nach unten gedrückt wird, verschwelt und die Asche abfällt. Durch eine Vielzahl kleiner Düsenbohrungen **7.1** in der Rostgrundplatte **5.2** des igelförmigen Ascherostes **5** wird eine gleichmäßige Luftverteilung erreicht. Dadurch wird die Asche intensiv verwirbelt und die in der Asche noch befindlichen nichtverbrannten Teilchen verbrannt. Zugleich wird durch die Luft eine Fluidisation der Asche bewirkt und die Asche fließt auf der schräg angestellten Rostgrundplatte **5.2** durch ihre eigene Schwerkraft in die Aschekammer **5.1** ab. Der kontinuierliche Ascheabtransport verhindert einen Rückstau und sichert so einen flächendeckenden Schwelbrand an der aufliegenden Brennstoffballenfläche. Die Seitenflächen des Brennstoffballens **6** werden dabei relativ wenig angegriffen, so dass über den gesamten Schwelprozess bis zum vollständigen Verbrauch des Brennstoffvorrats in gerichteter Weise von unten nach oben der Schwelbrand gleichmäßig abläuft. Damit wird eine effektive Brenngaserzeugung erreicht. Durch einen langsamen Vergasungsprozess wird auch erheblich weniger Asche mit den entstehenden Brenngasen aus dem Vergasungsraum ausgetragen. Bei entsprechend gut geregelter Luftzufuhr in der Vergasungskammer **1** (also mit Luftmangel) wird zugleich gesichert, dass der Vergasungsprozess nicht zum Erliegen kommt.

Die in der Vergasungskammer **1** erzeugten Brenngase werden direkt in die nachgeordnete zweizügige Brennkammer **2** geleitet. Parallel dazu wird über den geregelten Sekundärlufteinlass **8** Sekundärluft in den Misch- und Vorbrennraum **12** eingebracht. Im gezeigten Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 erfolgt der Transport der Primär- und Sekundärluft durch Unterdruck, der mit dem im Rauchgasabzug **20** angeordneten Gebläse **9** erzeugt wird. Im ersten Brennkammerzug der zweizügigen Brennkammer **2** werden die Brenngase vertikal von oben nach unten geführt, vermischt und mit Luftüberschuss teilweise bis vollständig verbrannt. Im zweiten, als Nachbrennkammer **13** ausgeführten Brennkammerzug werden die Gase von unten nach oben geführt und vollständig verbrannt. Zur Gewährleistung eines sicheren Ausbrandes der Gase in der Nachbrennkammer **13**

ist diese gegenüber der Misch- und Vorbrennkammer **12** in ihrem Durchmesser bzw. in ihrer Querschnittsfläche größer ausgeführt. Damit wird eine Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit erreicht und gleichzeitig die Verweilzeit der Gase in der Nachbrennkammer verlängert. Aus der Nachbrennkammer **13** werden die ausgebrannten Gase dann in die Wärmeübertragerbaugruppe **3** (**3.1**, **3.2**) übergeleitet.

Um die Wärmeabstrahlung in dem Misch- und Vorbrennraum **12** auf ein Minimum zu beschränken, ist dieser Bereich zusätzlich isoliert.

Die Umlenkung des Gasstromes um 180° zwischen beiden Brennkammerzügen erfolgt in der Strömungskammer **14**. Um mittransportierte Flugascheteilchen nicht in den Wärmeübertrager **3** gelangen zu lassen, ist ihr Kammervolumen so bemessen, dass die Durchflussgeschwindigkeit soweit absinkt, dass die Asche- und Staubpartikel aus dem Gasstrom abgeschieden werden.

Die Entnahme der in der Strömungskammer **14** abgelagerten Asche erfolgt über die luftdicht abschließende Reinigungstür **14.1**. Es versteht sich, dass bei der Verbrennung von festen Brennstoffen, insbesondere von halm- und stengelförmigen Brennstoffen, ein vergleichsweise hoher Ascheanteil zu erwarten ist, der eine häufigere Reinigung des Heizkessels erforderlich macht (z. B. vor jeder erneuten Beschickung).

Nicht nur diese Reinigungsöffnung, sondern auch alle anderen Reinigungsöffnungen sind während des Betriebes des Heizkessels selbstverständlich geschlossen zu halten, so dass in die gesamte Anlage keinerlei Falschlufteintreten kann. Die Reinigung bzw. das Entfernen der Asche aus der Anlage sollte möglichst im kalten Zustand, spätestens jedoch vor dem neuen Befüllen der Vergasungskammer **1** erfolgen.

Wie die Fig. 1 und 2 zeigen, ist der Wärmeübertrager **3** zur Erreichung einer großen Oberfläche und im Sinn einer Bauteiloptimierung in eine ab- und aufsteigende Kammer **3.1** und **3.2** unterteilt, die durch die Umlenkammer **15** miteinander verbunden sind. Infolge der Umlenkung der Rauchgase in der Umlenkammer **15** kommt es zu einer intensiven Anströmung der Bauteile. Durch die große Oberfläche und Kammerlänge des Wärmeübertragers **3** wird die Verweilzeit vergrößert und eine sehr gute Ausnutzung der Wärmeübertragung auf das Wärmeträgermedium erreicht.

Die Reinigung der Rauchgasrohre **3.3** im Wärmeübertrager **3** erfolgt über die Reinigungsöffnung **16** auf der Oberseite des Gehäuses **4**. Eventuell abgelagerte Flugasche in der Umlenkammer **15** wird über die luftdicht abschließende Reinigungstür **15.1** entsorgt.

Die Darstellung der Kesselanlage nach Fig. 2 unterscheidet sich durch ihre kompaktere Bauweise von der Darstellung nach Fig. 1. Wie zu erkennen ist, sind die Brennkammer **2** und der Wärmeübertrager **3** parallel nebeneinander und unmittelbar hinter der Vergasungskammer **1** positioniert. Bei beiden Ausführungsformen wurde der Wärmespeicher als Wärmepuffer nicht dargestellt.

Fig. 3 zeigt nochmals den Aschrost **5** mit der schräg angestellten und über das Gelenk **5.21** schwenkbar angelenkten Rostgrundplatte **5.2**. Die Schrägstellung wird über das feste oder auch begrenzt einstellbare Widerlager **5.22** ermöglicht. Die Stelzen **5.3**, die an der Rostgrundplatte befestigt sind, ragen lotrecht in die Vergasungskammer (hier nicht dargestellt) hinein. Der Brennstoffballen **6** wird von den Stelzen **5.3** getragen. Über den Primärlufteinlass **7** erfolgt die unterstöchiometrisch geregelte Luftzufuhr durch Unter- oder Überdruck. Aus der Verteilerkammer **1.1** unter der Grundrostplatte **5.2** wird die Luft über die Stelzen **5.3** und von dort über die strahlenförmig angeordneten Luftaustrittsbohrungen **7.2** auf der Unterseite des Brennstoffballen



6 in die Vergasungskammer 1 geleitet, wo sie sich über die gesamte Schwelfläche verteilt.

Während des Schwelvorganges wird die Asche durch die intensive Luftströmung abgelöst und fällt auf die Rostgrundplatte 5.2. Durch den parallel über die Düsenbohrungen 7.1 flächendeckend geförderten Luftstrom wird die Asche aufgewirbelt und fluidisiert. Von der Asche mitgerisene nichtverschwelte Brennstoffteilchen werden hierbei verbrannt. Die fluidisierte Asche fließt durch ihre Schwerkraft und die Schrägstellung der Rostgrundplatte 5.2 in die Aschekammer 5.1 ab.

Die in Fig. 4 dargestellte Abdeckhaube 20 kommt zur Anwendung, wenn Brennstoffballen kleiner Abmessung in eine größere Vergasungskammer eingesetzt werden sollen. Die Abdeckhaube 20 ist glockenförmig ausgebildet und dem jeweiligen Brennstoffballen formgeometrisch angepasst. Dementsprechend kann sie auch längsgeteilt ausgeführt sein. Für einen freien Gasaustritt ist ihr unterer Rand mit Schlitz 21 (linke Hälfte der Figur) oder mit Abzugsbohrungen 23 in mehreren Reihen ausgestattet. Das erzeugte Brennngas wird über diese Öffnungen in die Vergasungskammer 1 abgeleitet. Getragen wird die Abdeckhaube 20 durch Stützen 23, die in der Regel der Höhe der Stelzen 5.3 entsprechen und auf der Rostgrundplatte 5.2 befestigt sind.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum kontinuierlichen Wärmenutzung von zu Ballen kompaktierten festen biogenen Brennstoffen, nämlich halm- und stengelförmigen Energiepflanzen, wie Stroh, Schilf, Heu, Torf o. dgl. in Feuerungsanlagen kleiner Leistung bei diskontinuierlicher Brennstoffbeschickung zur kontinuierlichen Bereitstellung der erzeugten Wärme, wobei das Verfahren zweistufig durchgeführt wird und in der ersten Stufe die Vergasung und in der zweiten Stufe die Verbrennung erfolgt in dem die kompaktierten Brennstoffballen im ganzen in eine luftdicht verschließbare nicht gekühlte und gut isolierte Vergasungskammer raumfüllend auf einem Ascherost eingesetzt und unter Zuführung geregelter unterstöchiometrischer Primärluft im Schwelbrand zu Schwel- bzw. Brennngasen vergast und anschließend in einer Brennkammer thermisch umgesetzt werden und dass im Anschluß in einem Wärmeübertrager (3) die Auskoppelung der Nutzwärme erfolgt, wobei ein Teil der Nutzwärme in einem Pufferspeicher auf Abruf zwischengespeichert wird und dass dann die abgekühlten Rauchgase in die Atmosphäre abgeführt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß

- a) die bei der Vergasung von der Schwelbrandfläche des Brennstoffballen (6) abfallende Asche von einer geneigten Rostgrundplatte (5.2) aufgefangen,
- b) die in der Asche verbliebenen brennbaren Teilchen unter Zuführung von Primärluft ausgebrannt und die Asche durch die Primärluft fluidisiert und über die Rostgrundplatte (5.2) in eine Aschekammer (5.1) abgeleitet wird,
- c) das erzeugte Brennngas aus der Vergasungskammer (1) unter Zugabe von Sekundärluft in einem als Misch- und Vorbrennkammer (12) ausgebildeten ersten Brennkammerzug einer zweizügigen Brennkammer (2) eingeleitet und mit Luftüberschuß teilweise bis vollständig verbrannt wird,
- d) vor dem zweiten als Nachbrennkammer (13) ausgebildeten Brennkammerzug, eine Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit erfolgt,

e) dass das Brennngas in der Nachbrennkammer (13) vollständig ausgebrannt wird,

f) die Strömungsgeschwindigkeit in der Nachbrennkammer (13) kleiner ist als in der Misch- und Vorbrennkammer (12) aber größer als in der Strömungskammer (14).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Hauptvergasungsbereich am nachrutschenden Brennstoffballen (6) im unteren Bereich des Brennstoffballens (6) oberhalb des Ascherostes (5) liegt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, insbesondere zur Aufrechterhaltung einer unterstöchiometrischer Vergasung in der Vergasungskammer und einem Luftüberschuß in der Brennkammer unter der Bedingung, dass ein Schmelzen der Asche und Staubpartikel verhindert wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung der Zufuhr von Primär- und Sekundärluft sowohl in Wechselwirkung mit der Vergasungs- und Verbrennungsstufe als auch der Rauchgasableitung durch Messung der Temperatur- und Sauerstoffkonzentrationen im Bereich des Ascherostes, dem Brennkammerein- und -austritt und dem Wärmetauscheraustritt erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 1, insbesondere zur Aufrechterhaltung einer unterstöchiometrischer Vergasung und zur Unterdrückung einer Verpuffungsgefahr, dadurch gekennzeichnet, dass Rezirkulationsgase geregelt in die Vergasungskammer (1) eingeleitet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuführung der Sekundärluft im oberen Bereich des ersten Brennkammerzuges der zweizügigen Brennkammer (2) erfolgt, und dass das mit dem Brennngas gebildete Reaktionsgas die zweizügige vertikale ausgerichtete Brennkammer (2) im ersten Teil von oben nach unten und im zweiten Teil von unten nach oben durchströmt.

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zuleitung der Primärluft unterhalb der Rostgrundplatte (5.2) erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Primärluft über lanzenartige Stelzen (5.3) strahlenförmig an die Schwelfläche an der Unterseite des Brennstoffballens (6) geleitet und flächendeckend verteilt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die zum Verwirbeln und zum Fluidisieren der Asche erforderliche Primärluft über eine Vielzahl in der Rostgrundplatte (5.2) angeordnete Düsenbohrungen (7.1) zugeführt und flächendeckend verteilt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1 und 2 unter der Voraussetzung, dass gegenüber der vorhandenen Vergasungskammer geometrisch kleinere Brennstoffballen zum Einsatz gebracht werden, dadurch gekennzeichnet, dass der jeweilige Brennstoffballen (6) während der Vergasung mit einem an die Ballenform und -größe angepassten glockenförmigen Abdeckhaube (23) raumfüllend überdeckt ist.

10. Vorrichtung in Form einer Feuerungsanlage zur Umsetzung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, die folgende Merkmale umfasst, ein isoliertes Gehäuse in dem alle verfahrensspezifischen Funktionsgruppen eingeordnet sind, eine Vergasungskammer mit vertikal orientierter Längsachse, einen Ascherost mit einer schwenkbaren Rostgrundplatte, die in einem Gelenk schwenkbar angelenkt ist, die sich auf ihrer gelenkfreien Seite auf einem Widerlager abstützt, eine auf der Längsseite der Vergasungskammer über die gesamte Kammerhöhe reichende schwenkbare Tür, eine

dem Ascherost zugeordnete Aschekammer mit Reinigungstür, eine Primärluftzuführung unter und/oder oberhalb der Rostgrundplatte, einem Beobachtungs- und Zündloch in der Vergasungskammer, einem Wärmeübertrager zum Abgriff der Nutzwärme, vorzugsweise mit zwei vertikal angeordneten Zügen und einer dazwischen angeordneten Umlenkammer, einem Saugzug- und/oder Druckgehlase, das hinter dem Wärmeübertrager im Rauchgasabzug bzw. in der Primär- und Sekundärluftzuführung angeordnet ist, einem Temperaturfühler  $T_1$  unmittelbar über dem Ascherost, einem Temperaturfühler und  $\lambda$ -Sonde  $TS_1$  und  $TS_2$  am Ein- und Austritt der Brennkammer, einem Temperaturfühler  $T_2$  am Rauchgasabzug, wobei die Meßfühler  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $TS_1$  und  $TS_2$  rechnergestützt mit Regelelementen in der Primär- und Sekundärluftleitung (7; 8) wirkverbunden sind, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) der Querschnitt der Vergaserkammer (1) annähernd formschlüssig dem Brennstoffballen (6) angepaßt ist,
- b) bei fehlender Anpassung der Vergasungskammer (1) eine dem Brennstoffballen (6) angepaßte glockenartige Abdeckhaube (20) zugeordnet ist,
- c) die Abdeckhaube (20) am unteren Rand Abzugsbohrungen (22) oder Schlitze (21) trägt,
- d) die Abdeckhaube (20) sich gegenüber dem Ascherost (5) auf Stützen (23) abstützt,
- e) ein Ascherost (5) im unteren Teil der Vergasungskammer (1) als Igel- oder Stelzenrostes ausgebildet ist,
- f) die Rostgrundplatte (5.2) die Stelzen (5.3) des Igel- bzw. Stelzenrostes trägt, die auf der Seite der Vergasungskammer (1) verschlossen ist,
- g) der Verschluss der Stelzen (5.3) plan, kalottenartig, spitzkegelig, abgeflacht und spitz, oder kreuzförmig und spitz ist,
- h) die Rostgrundplatte (5.2) einstellbar und geneigt fixiert ist,
- i) die Stelzen (5.3) in der Rostgrundplatte (5.2) lotrecht, d. h. parallel zur Längsachse der Vergasungskammer (1) eingepasst sind,
- j) die nach unten offenen Stelzen (5.3) auf der Seite der Vergasungskammer (1) Luftübertrittsbohrungen (7.2) besitzen,
- k) in der Rostgrundplatte (5.2) zwischen den Stelzen (5.3) eine diverse Anzahl von Düsenbohrungen (7.1) flächendeckend angeordnet sind,
- l) eine aus dem Rauchgasabzug (3.3) zuschaltbare Rauchgasrezirkulationsleitung (17) zur Vergaserkammer (1) vorhanden ist,
- m) eine vertikal ausgerichtete und parallel zur Vergasungskammer (1) angeordneten zweizügigen Brennkammer (2), bestehend aus einer Misch- und Vorbrennkammer (12) und einer Nachbrennkammer (13) vorgesehen ist,
- n) im oberen Bereich der Misch- und Vorbrennkammer (12) der Brenngaseintritt (10) aus der Vergasungskammer (1) und eine Sekundärluftzuführung (8) angeordnet ist,
- o) als Beruhigungs- und Umlenkzone zwischen der Misch- und Vorbrennkammer (12) und der Nachbrennkammer (13) eine Geschwindigkeit absenkende Strömungskammer (14) angeordnet ist,
- p) der Durchmesser, Querschnitt oder die Kammerlänge der Nachbrennkammer (13) größer ist als der/die der Misch- und Vorbrennkammer (12),
- q) dem Wärmeübertrager (3) parallel oder in Reihenschaltung ein Wärmespeicher als Pufferspeicher

cher zugeordnet ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass Vergasungskammer (1), die Brennkammer (2) und der Wärmeübertrager (3) parallel hintereinander angeordnet sind.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer (2) und der Wärmeübertrager (3) nebeneinander hinter der Vergaserkammer (1) angeordnet sind.

13. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennkammer (2) unmittelbar über dem Wärmeübertrager (3) angeordnet ist.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---



- Leerseite -

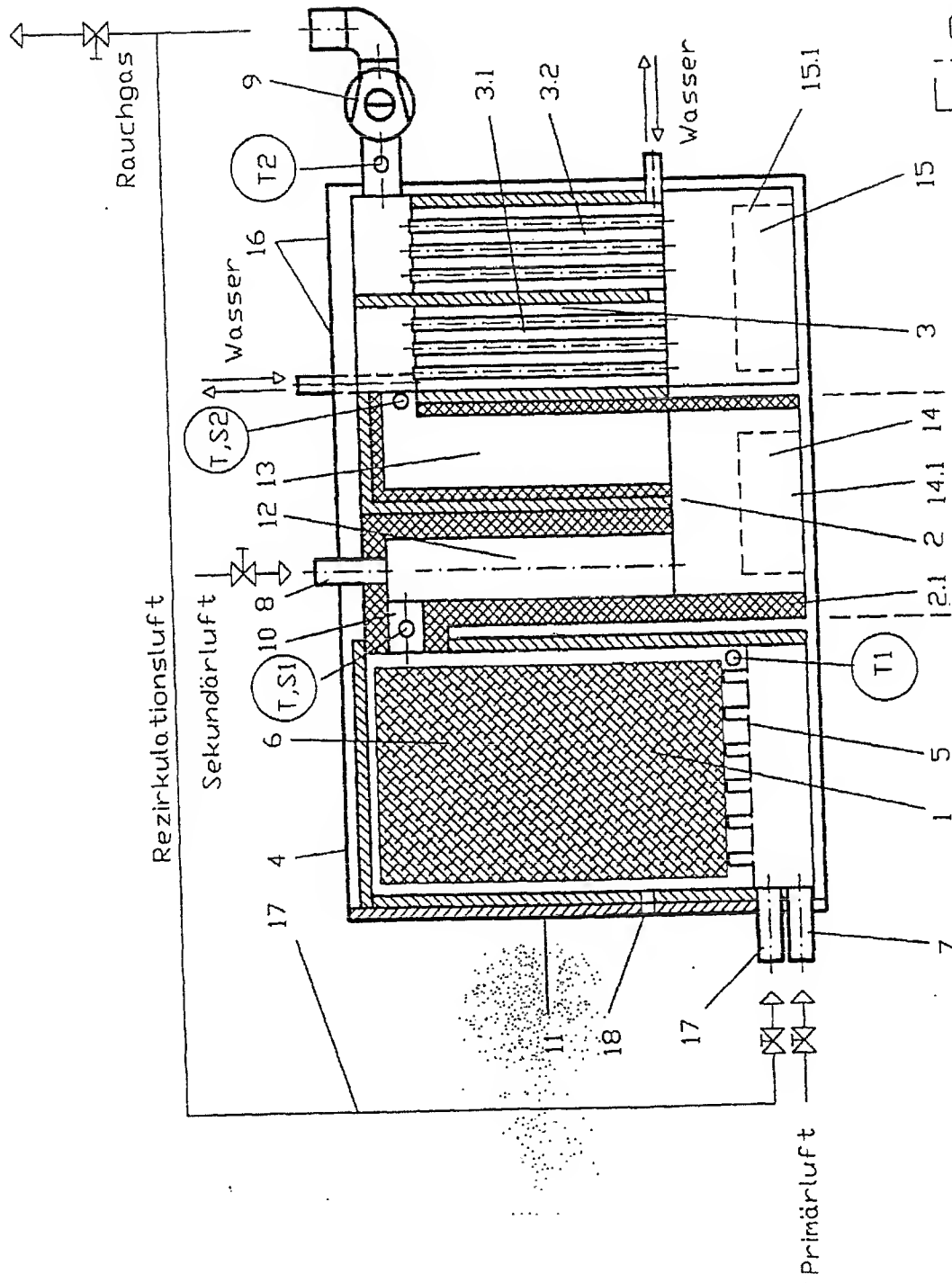


Fig. 1

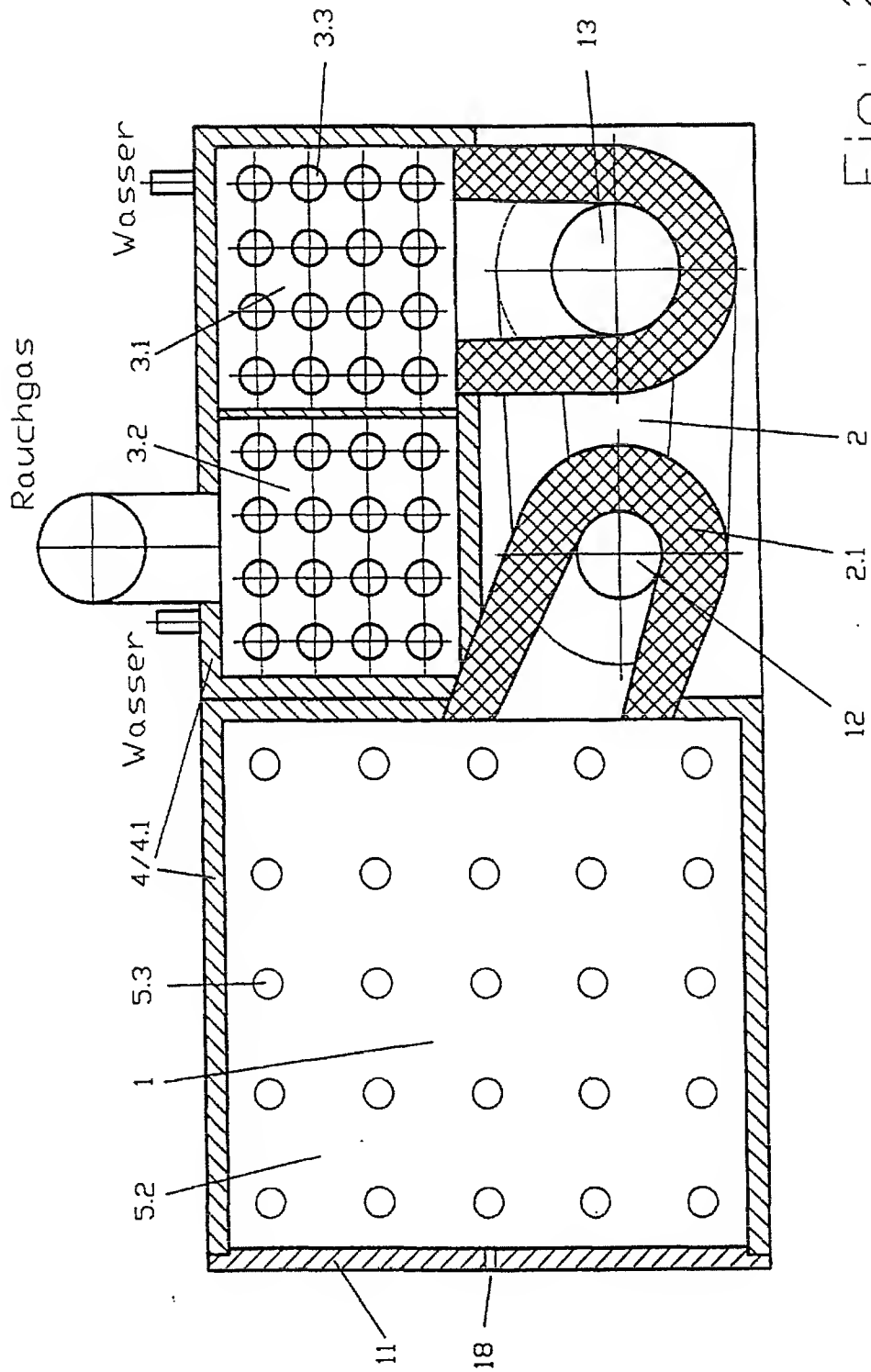


Fig. 2

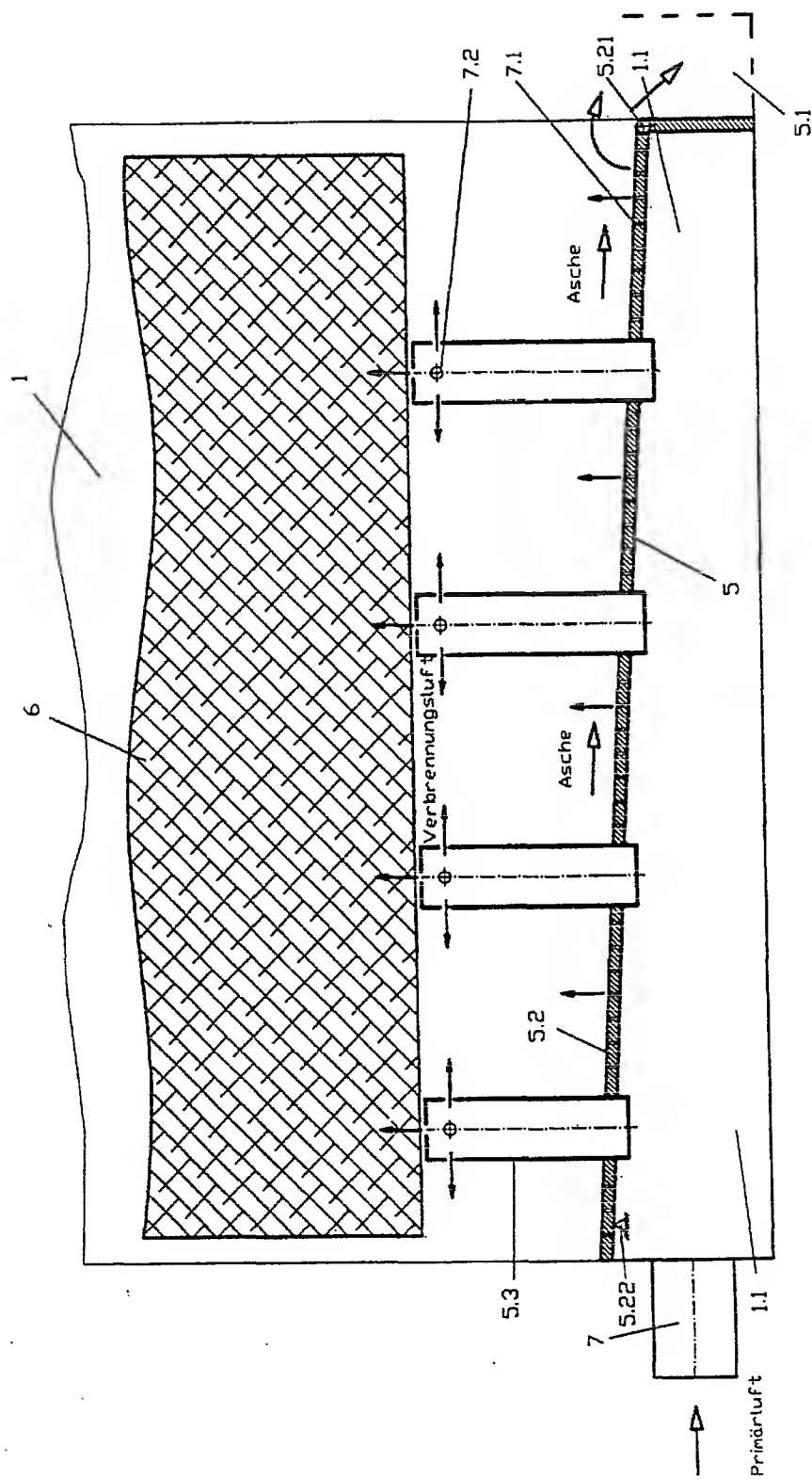


Fig. 3

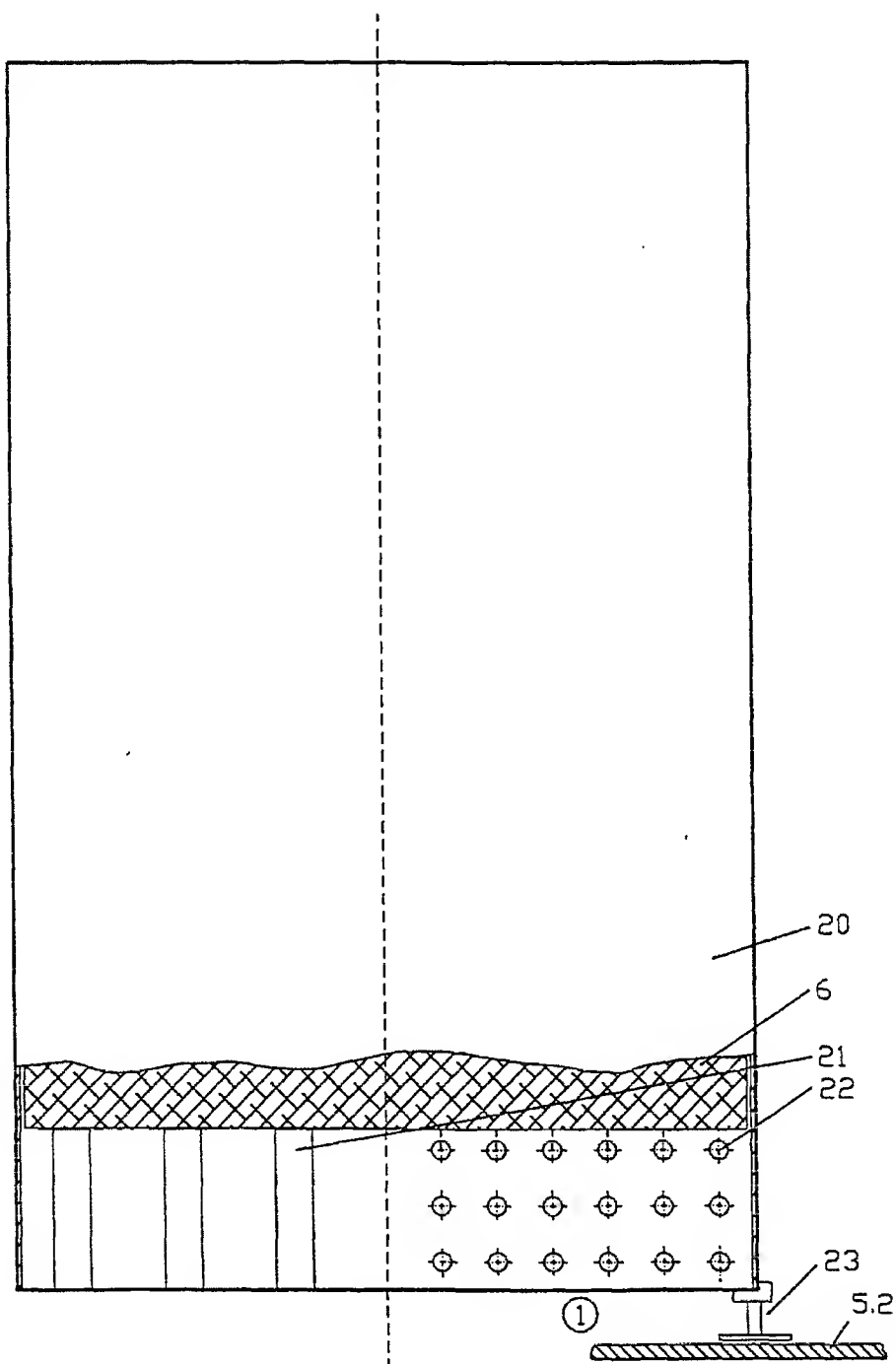


Fig. 4